
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
2010/2011 Academic Session

April/May 2011

IEK 213 – MASS TRANSFER AND SEPARATION PROCESSES
[PROSES PEMINDAHAN JISIM DAN PROSES PEMISAHAN]

Duration: 3 hours
Masa: [3 jam]

Please check that this examination paper consists of FOURTEEN pages of printed material before you begin the examination.

[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi EMPATBELAS muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]

Instructions: Answer FIVE questions. You may answer the questions either in Bahasa Malaysia or in English.

[Arahan: Jawab LIMA soalan. Anda dibenarkan menjawab soalan sama ada dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.]

In the event of any discrepancies, the English version shall be used.

[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai.]

Answer any FIVE questions

1. Answer any TWO of the following:

(a) An air-water gaseous mixture at 55°C has a wet-bulb temperature of 30°C. From the psychrometric chart provided, determine

- i) humidity
- ii) molar humidity
- iii) percentage humidity
- iv) saturation humidity
- v) dew point
- vi) humid heat
- vii) humid volume
- viii) total enthalpy

(50 marks)

(b) Discuss about packings and packed tower used in gas absorption processes.

(50 marks)

(c) Give brief accounts of

- i) Types of adsorption isotherms
- ii) Langmuir isotherm: $q_e = q_{\max} k_L C_e / (1 + k_L C_e)$
- iii) Freundlich isotherm: $q_e = k_F C_e^{1/n}$
- iv) Breakthrough curve
- v) Pseudo-first and pseudo-second order kinetic models:

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$

$$t/q_t = 1/(k_2 q_e^2) + t/q_e$$

(50 marks)

2. The gas CO₂ is diffusing at steady state through a tube 0.20 m long having a diameter of 0.01 m and containing N₂ (non-diffusing) at 298 K. The total pressure is constant at 101.32 kPa. The partial pressure of CO₂ at one end is 456 mm Hg and 76 mm Hg at the other end. The diffusivity D_{AB} is 1.67 x 10⁻⁵ m²/s at 298 K. Calculate the flux of CO₂ through N₂.

(a) 1 atm = 760 mm Hg, $R = 8,314 \text{ N.m/kmol.K}$
 $N_A = p_t D_{AB} (p_{A1} - p_{A2}) / (RT z p_{B,m})$

(40 marks)

- (b) A dilute slurry contains small solid food particles having a diameter of 0.05 mm which are to be removed by centrifugation. The solid density is 1050 kg/m³ and the liquid density is 1000 kg/m³. The viscosity of the liquid is 1.2 x 10⁻³ Pa.s. A centrifuge rotating at 3000 rpm is to be used. The bowl dimensions are b = 100.1 mm, r₁ = 5.00 mm, and r₂ = 10.0 mm. Calculate the expected flow rate in m³/s just to remove these particles.

$$\text{Given the residence time } t_t = 18\mu \ln(r_2/r_1)/[\omega^2 D_p^2 (\rho_p - \rho)]$$

(60 marks)

3. A saturated liquid feed of 200 mol/h at the boiling point containing 42 mol% heptane and 58 % ethyl benzene is to be fractionated at 101.32 kPa to give a distillate containing 97 mol% heptane and a bottoms containing 1.1 mol% heptane. The reflux ratio used is 2.5. Equilibrium data of the system are given below.

- (a) Calculate the mol/h of the distillate and bottoms.

- (b) Determine using McCabe-Thiele graphical method the theoretical number of trays and the feed tray number.

x _H	0.0	0.08	0.25	0.485	0.790	1.00
y _H	0.0	0.23	0.514	0.730	0.904	1.00
$y_{n+1} = R_D x_F / (R_D + 1) + x_D / (R_D + 1)$						
$y = -qx / (1 - q) + x_F / (1 - q)$						

(100 marks)

4. A mixture of 40 mol% benzene with toluene is distilled in a column to give a distillate of 95 mol% benzene and a bottoms of 5 mol% benzene. The feed is supplied to the column as liquid at its boiling point. Equilibrium data of the system are given below.

- (a) Determine the minimum number of plates;
 (b) Determine the minimum reflux ratio;
 (c) If the reflux ratio is 4.0, determine the number of plates required and the position of the feed using McCabe-Thiele method.

x _b	0.0	0.13	0.26	0.41	0.58	0.78	1.00
y _b	0.0	0.26	0.46	0.63	0.78	0.90	1.00

(100 marks)

5. (a) For filtration through a clean filter cloth, the flowrate can be related proportionally to the pressure drop across the cloth and the face area of the cloth. The flowrate is also inversely proportional to the thickness of the cloth.

Derive the general filtration equation that can be used graphically to calculate the specific cake resistance and the medium resistance when the cloth is filtering a suspension in a plate and frame filter press.

Assume constant pressure filtration and the cake is incompressible.

(40 marks)

- (b) The equation derived in 5(a) has to be modified since the operating pressure has to be increased gradually until a truly constant pressure period is achieved. The new equation takes the form:

$$\frac{t - t_s}{V - V_s} = \frac{\alpha \mu C (V + V_s) + \mu R_m}{2A^2 \Delta P} \frac{\mu R_m}{A \Delta P}$$

where t_s and V_s are the actual starting time and starting volume respectively for constant pressure filtration. (All symbols represent the typical parameters for constant pressure filtration).

Filtration tests were carried out with a plate and frame filter press under the following conditions:

Solids: $\rho_s = 2710 \text{ kg/m}^3$

Liquid: water at 20°C

$\mu = 0.001 \text{ Ns/m}^2$

Suspension: concentration = 10 kg/m^3

Filter: plate and frame press, 1 frame, dimensions $430 \times 430 \times 30 \text{ mm}$ (the actual cake thickness can be bigger by 5 mm because of a recess in the plates).

Data for the filtration experiment

Table 1: Data from filtration experiment

$10^{-5} \Delta p, \text{N m}^{-2}$	t, s	V, m ³
0.4	447	0.04
0.5	851	0.07
0.7	1262	0.10
0.8	1516	0.13
1.1	1886	0.16
1.3	2167	0.19
1.3	2552	0.22
1.3	2909	0.25
1.5	3381	0.28
1.5	3686	0.30
1.5	4043	0.32
1.5	4398	0.34
1.5	4793	0.36
1.5	5190	0.38
1.5	5652	0.40
1.5	6117	0.42
1.5	6610	0.44
1.5	7100	0.46
1.5	7608	0.48
1.5	8136	0.50
1.5	8680	0.52
1.5	9256	0.54

The frame was full of cake at $V = 0.56\text{m}^3$

Use the information given to determine the specific cake resistance and the medium resistance.

(60 marks)

6. (a) Drying of different solids will often show in general two major parts of the drying rate curve, i.e. the constant-rate period and the falling-rate period. In relation to the drying process explain briefly regarding

- i) the constant-rate period
- ii) the falling-rate period
- iii) the free moisture content
- iv) the critical free moisture content

(20 marks)

- (b) The drying rate, R, can be calculated using the following equation

$$R = \frac{-L_s}{A} \frac{dX}{dt}$$

where R is the drying rate (kg H₂O/h.m²)
L_s weight of dry solid (kg)
A exposed surface area for drying (m²)

Use this equation to derive an equation for calculating the time of drying for a constant rate period.

(20 marks)

- (c) A batch of wet solid whose drying rate curves are shown in Appendix 1, is to be dried from a free moisture content of X₁ = 0.38 kg H₂O/kg dry solid to X₂ = 0.04 kg H₂O/kg dry solid. The weight of the dry solid is L_s = 399 kg and surface area for drying is 18.58m². Calculate the drying time.

(60 marks)

Jawab sebarang LIMA soalan.

1. Jawab sebarang DUA soalan di bawah:

(a) Satu campuran gas udara-air pada 55°C mempunyai suhu bebuli basah 30°C . Dengan menggunakan carta sikrometrik yang diberi, tentukan

- i) kelembapan
- ii) kelembapan molar
- iii) kelembapan peratusan
- iv) kelembapan tepu
- v) takat embun
- vi) haba lembab
- vii) isipadu lembab
- viii) entalpi total

(50 markah)

(b) Bincangkan konsep pengalasan dan menara berisi yang digunakan dalam proses penyerapan gas.

(50 markah)

(c) Huraikan

- i) jenis isotherm penyerapan
 - ii) isotherm Langmuir: $q_e = q_{\max} k_L C_e / (1 + k_L C_e)$
 - iii) isotherm Freundlich: $q_e = k_F C_e^{1/n}$
 - iv) lengkung bulus
 - v) model kinetik tertib pseudo-pertama dan tertib pseudo-kedua
- $$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$
- $$t/q_t = 1/(k_2 q_e^2) + t/q_e$$

(50 markah)

2. (a) Gas CO_2 meresap pada keadaan mantap menerusi satu tiub yang mempunyai panjang 0.20 m dan diameter 0.01 m yang mengandungi N_2 (tidak meresap) pada 298 K. Jumlah tekanan ialah malar pada 101.32 kPa. Tekanan separa bagi CO_2 di satu hujung ialah 456 mm Hg dan 76 mm Hg di hujung yang lain. Keresapan D_{AB} ialah $1.67 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ pada 298 K. Hitungkan fluks CO_2 menerusi N_2 .

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg}, \quad R = 8,314 \text{ N.m/kmol.K}$$

$$N_A = p_t D_{AB} (p_{A1} - p_{A2}) / (RT_z p_{B,m})$$

(40 markah)

- (b) Satu buburan cair mengandungi zarah makanan pepejal kecil yang mempunyai diameter 0.05 mm. Zarah pepejal tersebut akan dipecatkan melalui pengemparan. Ketumpatan pepejal ialah 1050 kg/m^3 dan ketumpatan cecair ialah 1000 kg/m^3 . Kelikatan cecair ialah $1.2 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$. Satu alat pengempar yang memutar pada 3000 rpm akan digunakan. Ukuran pengempar ialah $b = 100.1 \text{ mm}$, $r_1 = 5.00 \text{ mm}$, dan $r_2 = 10.0 \text{ mm}$. Hitungkan kadar aliran dijangkakan, dalam unit m^3/s , untuk memecatkan zarah-zarah tersebut.

$$\text{Diberi masa mastautinan: } t_i = 18\mu \ln(r_2/r_1)/[\omega^2 D_p^2 (\rho_p - \rho)]$$

(60 markah)

3. Satu suap cecair tepu pada 200 mol/h dan takat didih yang mengandungi 42 mol% heptana dan 58% benzena akan disulingkan pada 101.32 kPa. untuk mengeluarkan hasil atas yang mengandungi 97 mol% heptana dan hasil bawah yang mengandungi 1.1 mol% heptana. Nisbak refluks ialah 2.5. Data keseimbangan adalah diberi di bawah.

- (a) Hitungkan kadar hasil atas dan hasil bawah dalam unit mol/h;
- (b) Dengan menggunakan kaedah grafik McCabe-Thiele tentukan bilangan dulang teoretis dan kedudukan dulang suap.

x_H	0.0	0.08	0.25	0.485	0.790	1.00
y_H	0.0	0.23	0.514	0.730	0.904	1.00

$$y_{n+1} = R_D x_F / (R_D + 1) + x_D / (R_D + 1)$$

$$y = -qx/(1-q) + x_F/(1-q)$$

(100 markah)

4. Satu campuran yang mengandungi 40 mol% benzena dengan toluena disulingkan di dalam satu turus penyulingan untuk mengeluarkan hasil atas yang mengandungi 95 mol% benzena dan hasil bawah yang mengandungi 5 mol% benzena. Campuran tersebut disuapkan ke dalam turus dalam bentuk cecair pada takat didih. Data keseimbangan sistem tersebut adalah diberi di bawah.

- (a) tentukan bilangan plat minimum;
- (b) Tentukan nisbah refluks minimum;

- (c) Jikan nisbah refluks ialah 4.0, tentukan bilangan plat yang dikehendaki dan kedudukan suap dengan menggunakan kaedah McCabe-Thiele.

x_b	0.0	0.13	0.26	0.41	0.58	0.78	1.00
y_b	0.0	0.26	0.46	0.63	0.78	0.90	1.00

(100 markah)

5. (a) Untuk penurasan melalui kain turas bersih, kadar aliran boleh dikaitkan secara berkadar terus dengan jatuhan tekanan merentasi kain dan juga dengan luas permukaan kain. Kadar aliran juga berkadar songsang dengan tebal kain.

Terbitkan persamaan umum penurasan yang boleh digunakan secara grafik untuk mengira rintangan kek khusus dan rintangan medium apabila berlaku penurasan suatu ampaian dengan menggunakan penuras tekan jenis plat dan kerangka. Andaikan penurasan pada tekanan malar dan kek tak termampatkan.

(40 markah)

- (b) Persamaan yang diterbitkan dalam bahagian 5 (a) perlu diubahsuai kerana tekanan ketika operasi perlu ditingkatkan secara beransur-ansur sehingga tempoh tekanan mantap hakiki diperolehi. Persamaan baru itu ditulis seperti berikut:

$$\frac{t - t_s}{V - V_s} = \frac{\alpha \mu C (V + V_s) + \mu R_m}{2A^2 \Delta P} \frac{1}{A \Delta P}$$

t_s dan V_s masing-masing merupakan masa mula dan isipadu mula sebenar untuk penurasan tekanan malar. (Semua simbol mewakili parameter-parameter yang lazim untuk penurasan tekanan malar).

Ujikaji penurasan telah dilaksanakan dengan menggunakan penuras tekan jenis plat dan kerangka menurut keadaan berikut:

Pepejal: $\rho_s = 2710 \text{ kg/m}^3$

Cecair: air pada 20°C
 $\mu = 0.001 \text{ Ns/m}^2$

Ampaian: kepekatan = 10 kg/m^3

Penuras: jenis tekan plat dan kerangka, 1 kerangka dimensi $430 \times 430 \times 30 \text{ mm}$ (tebal kek sebenar boleh lebih sehingga 5 mm kerana terdapat ruang pada plat).

Data untuk ujikaji tersebut dicatat seperti berikut.

Jadual 1: Data ujikaji penurasan

$10^{-5} \Delta p, N m^{-2}$	t, s	V, m^3
0.4	447	0.04
0.5	851	0.07
0.7	1262	0.10
0.8	1516	0.13
1.1	1886	0.16
1.3	2167	0.19
1.3	2552	0.22
1.3	2909	0.25
1.5	3381	0.28
1.5	3686	0.30
1.5	4043	0.32
1.5	4398	0.34
1.5	4793	0.36
1.5	5190	0.38
1.5	5652	0.40
1.5	6117	0.42
1.5	6610	0.44
1.5	7100	0.46
1.5	7608	0.48
1.5	8136	0.50
1.5	8680	0.52
1.5	9256	0.54

Kerangka penuh pada isipadu $V = 0.56m^3$

Guna maklumat yang telah diberi untuk menentukan nilai rintangan kekhusus dan rintangan medium.

(60 markah)

6. (a) Pengeringan pelbagai pepejal lazimnya akan menunjukkan secara am dua bahagian utama lengkung kadar pengeringan yakni tempoh kadar-malar dan tempoh kadar-jatuh. Berkaitan dengan proses pengeringan jelaskan secara ringkas tentang

- i) tempoh kadar-malar
- ii) tempoh kadar-jatuh
- iii) kandungan lembapan bebas
- iv) kandungan lembapan bebas genting

(20 markah)

- (b) Kadar pengeringan, R , boleh dikira dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R = \frac{-L_s}{A} \frac{dX}{dt}$$

R ialah kadar pengeringan ($\text{kg H}_2\text{O/h.m}^2$)

L_s berat pepejal kering (kg)

A luas permukaan terdedah untuk pengeringan (m^2)

Gunakan persamaan ini untuk menerbitkan suatu persamaan bagi pengiraan masa pengeringan dalam tempoh kadar malar.

(20 markah)

- (c) Sekelompok pepejal basah yang lengkung-lengkung pengeringannya ditunjukkan di dalam Apendik 1, perlu dikeringkan dari kandungan lembapan bebas $X_1 = 0.38 \text{ kgH}_2\text{O/kg}$ pepejal kering sehingga $X_2 = 0.04 \text{ kg H}_2\text{O/kg}$ pepejal kering. Berat pepejal kering ialah $L_s = 399 \text{ kg}$ dan luas permukaan untuk pengeringan ialah 18.58 m^2 . Kira masa pengeringan.

(60 markah)